

4W-6

対象指向型Lisp: EUSLispを用いた

ロボット用幾何モデリングシステム

松井俊浩

稲葉雅幸

(電子技術総合研究所)

(東京大学)

1. はじめに

ロボットのプログラミングには3次元の幾何モデラを中心に推論、通信、データベース、MMIなどの機能の統合が必要である。従来幾何モデラはFortranなどで実現されることが多かった。しかしこれらの幾何モデラを基にロボット向けの機能を拡張しようとしても、①スタンドアロン型のモデラではオンラインでのモデルアクセスが不可能、②パッケージ型のモデラでもFortran自体の制約が強くモデル情報の共有や下位の機能の利用が困難、などの障害があってシステムの統合化が阻まれていた。筆者らは、ロボットプログラミングの核となる言語として、対象指向をベースにすることで優れた拡張性を備えたプログラミングシステムEUSLISPを開発してきた<sup>[1]</sup>。今回、種々のロボットプログラミング機能の統合を目的として、EUSLisp上に幾何モデラを実現したので報告する。

2. EUSLISPによる幾何モデラ実現の特徴

幾何モデラを対象指向型Lispで実現することの利点は次のようにまとめられる。(1) モデル要素はオブジェクトで、位相関係はポインタによって明確に表現できる、(2) オブジェクトによってモデルに対する操作が抽象化され、アルゴリズムが簡潔に記述できる、(3) クラスの継承を用いることで属性の追加が可能、(4) モデルの保存・通信(外部表現への変換)が容易、(5) メモリ管理から解放され容量的制限が無くなる、(6) モデリング用の特別のコマンド言語を作成する必要がない。一般にLispは数値計算向きでないとされるが、ベクタ、マトリクスなどの幾何データとその演算プリミティブを組み込み

関数とし、コンパイラを利用すれば処理速度の点でも大きな問題とはならない。実際、プリミティブとして定型化できない処理の大部分はポインタ操作であり、浮動小数演算の占める比重は小さい。

3. オブジェクトによるモデル表現

物体は多面体で近似され、Brepで表現される。vertex, edge, face, hole, bodyなどのモデル要素は、図1のような継承構造を持つクラスによって階層的に定義される。オブジェクトのスロットの内容を図2に示す。モデル要素の参照関係は再帰的になる。

オブジェクトの状態に基づく計算法、状態の変更、機能名は同じだが対象物によって意味が異なるアルゴリズム(交点計算、点の内外判定など)はクラスにメソッドとして登録している。一方、n個の要素に対する対等な操作や新たな要素を生成する操作(干渉検査、点列からの凸包の生成など)は関数として実現している。

body, viewing など位置、姿勢を持ったオブジェクトの座標系はcoordinatesが管理しており、:move, :rotate, などのメッセージを受け付ける。bodyにはcascaded-coordsにより親子関係を定義でき、多関節構造のシミュレーションが行なえる<sup>[2]</sup>。

ウィング情報(接続するエッジ)はfaceのエッジリストから、全エッジはbodyのエッジリストから取り出すことができるので、エッジにはウィングは登録しない。このため4つのスロットが節約され、エッジの管理が簡素化されている。faceがholeリストを余分に持つ以外、faceとholeはほぼ同じデータ構造を持ち、共通するアルゴ

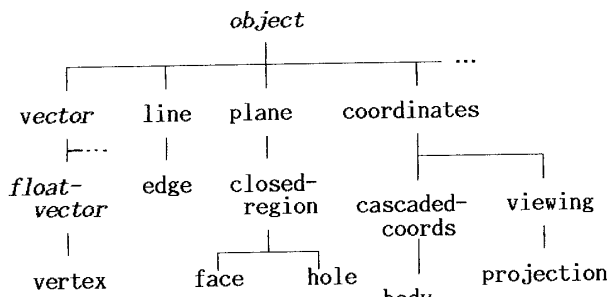


図1. モデル要素の階層構造(抜粋)

body	face, (hole)	edge
座標系	面方程式	始点
最小ボックス	エッジリスト	終点
面リスト	頂点リスト	右面
エッジリスト	凹凸フラグ	左面
頂点リスト	穴リスト	
凹凸フラグ		

図2. モデルのスロット変数

Object-Oriented Lisp: EUSLisp

--An Application To A Geometric Modeling System For Robots--

Toshihiro MATSUI<sup>1</sup>, Masayuki INABA<sup>2</sup>

1:Electrotechnical Laboratory, 2:University of Tokyo

リズムはclosed-region に記述されている。face, body には凹凸フラグが記録されているので内外判定が効率化される。

オブジェクトのスロット数に制約はないのでサブクラスによってこれらの構造を拡張し、属性を追加することは容易である。たとえば面にcolor 属性を付加したければ、colored-faceをfaceのサブクラスとして定義し、グローバル変数\*face-class\*にcolored-faceをセットしておけば、以後生成される面オブジェクトはcolored-faceのインスタンスになる。セルの数の上限も事実上無制限である。不要になったセルの回収はGCに任せられるのでメモリ管理に起因するバグの発生はない。

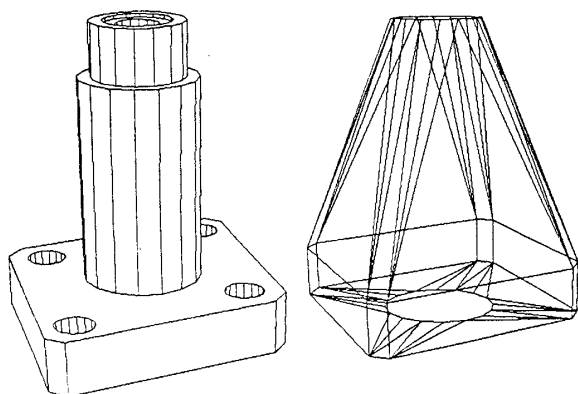
#### 4. 形状定義と合成操作

形状は、素立体を元に和、差、積、反転、切断などの集合演算を施すことで定義される。これらの操作はクラスに定義された交点計算メソッドを用いた関数として実現されている。また、従来使用されてきたソリッドモデラとの互換性を保つために、GEOMAP<sup>[4]</sup>の内部表現をeuslispのオブジェクト構造に変換する方法も用意されている。

集合演算などの変形操作では、データ構造をトラバースしながら多くの交点計算、エッジセグメントの作成が実行される。従来の幾何モデラには計算の途中結果をデータ構造の中にマークとして残したり、ポインタを破壊的に置換するものがあるが、lispでは途中結果をリストにつないでいく方法が取れるので、より安全で明確なアルゴリズムが実現できる。さらにcopy-object 関数により再帰的参照関係を保存したセルのコピー法が実現されているので、非可逆的なモデル操作における状態の保存・復帰が容易である。

#### 5. 属性計算

形状オブジェクトに対しては、干渉検査、断面図形の生成、凸包の生成(図3b)などが実現されている。さらに体積、重心などのマスプロパティが計算できる。これ



(a) 隠線処理表示と重心 (b) 同物体の凸包  
図3. バルブ部品の表示

らはいずれもロボットの動作シミュレーションやプランニングにとって重要である。たとえば重心と凸包を用いれば物体の安定姿勢が算出可能であり、環境モデリングの拘束条件に利用できる。

#### 6. 隠線処理、表示

表示だけを目的とするならばソフトウェアによる隠面処理は得策ではない。しかし、エッジに基づく視覚認識やスーパインポーズ表示のためには隠線処理は重要である。euslispの隠線処理ルーチンは結果としてimage オブジェクトを生成し、図形の領域、エッジ素片に対するシンボリックなアクセスが可能になる。image はsunview またはsuncore を利用して表示される<sup>[3]</sup>(図3a)。faceの情報をpolygon に展開すればCOREによるレンダリングを行なえる。

#### 7. オブジェクトベース機能

ソリッドモデリングによって作成されるデータ構造は複雑な参照関係を持ち、作成に時間がかかるので保存の必要がある。しかしセルのダンプなどでは互換性が保てない。グラフィックス標準ではメタファイルが検討されているが、拡張属性の入出力、再帰的参照関係の復元は厄介な問題である。euslispでは、#Sフォーマットによるストラクチャのread/print, #n=#n# ラベルによる再帰参照の解決により、CommonLisp間で互換性のある外部表現との相互の変換が可能である。これによりモデル、図形の簡便なデータベース化が達成できるほか、計測、モデル生成、表示、計算などの作業を複数のeuslispで担当し、その間でモデルを送受しあうような、分散型のロボットモデルベースシステムの構築が可能となる。

#### 8. まとめ

対象指向型Lispを用いることで拡張性の高いロボット用幾何モデルベースが簡潔に実現されることを示した。EUSLispの幾何計算機能と抽象化機能を利用することでここに述べた全機能は、高々千数百行の記述量と1か月程度の期間で開発できた。現在sun3, sun4の上で稼働中である。今後はロボット向きの属性を拡張し、シミュレーション、教示、プランニングなどの分野への応用を図る計画である。最後にこの研究を支援下さった井上博允東大機械工学科教授、高瀬国克システム制御研究室長、越川和忠視覚システム研究室主任研究官に感謝致します。

#### 参考文献

- [1] 松井、塚本「Euslisp:対象指向による型拡張性を有するLispシステムの実現」情報処理35回全国大会。
- [2] 松井、塚本、「マルチメディアディスプレイ-対象指向型モデリングシステム-」情報処理33回大会
- [3] 稲葉、松井、「対象指向型Lisp:Euslispの他言語インタフェースとウィンドウシステムへの応用」情報処理37回全国大会。
- [4] koshikawa, Shirai, "A 3-D Modeler For Vision Research," Proc. of 85ICAR.